

Modelización de emisiones de mercurio gaseoso desde una instalación minera y su entorno

Modeling of atmospheric mercury emissions from a mining area

W. Llanos¹, M.A. López-Berdonces¹, J.M. Esbrí¹, P. Higuera¹, R. Oyarzun² y M. Ramos³

- 1 Dept. Ingeniería Geológica y Minera, Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, Universidad de Castilla-La Mancha. Pl. Manuel Meca, 1. 13400 Almadén (Ciudad Real), España. willians.llanos@uclm.es
- 2 Dept. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Av. Complutense s/n., Ciudad Universitaria, 28071 Madrid, España.
- 3 Minas de Almadén y Arrayanes S.A. C. Velázquez 130 bis, 28006 Madrid, España.

Resumen: En la presente comunicación se analizan datos de dispersión de mercurio en el entorno de una instalación minera, actualmente utilizada para el almacenamiento de este metal en estado líquido en las proximidades de Almadén. Para ello se han comparado dos modelos de dispersión, uno basado en datos reales de inmisión de vapor de mercurio en la zona, y el segundo basado en la distribución teórica gaussiana que se genera a partir de un foco único de emisión, que sería la instalación mencionada. Los resultados obtenidos indican que la emisión generada a partir de la instalación es de muy escasa importancia, ya que produciría un incremento de la inmisión del vapor de mercurio en su entorno del orden de 1 a 3 ng Hg · m⁻³. De hecho, en el modelo obtenido a partir de los datos reales no se aprecia la influencia de la emisión generada por esta instalación, sino que podría ser interpretado en base a la presencia de antiguas escombreras y zonas de actividad minera en general.

Palabras clave: Mercurio atmosférico, Almadén, Modelización, Suelos.

Abstract: *The present work deals with the analysis of mercury vapour dispersion around an old mine area, presently used as a storage facility. To perform such analysis, we have elaborated two distribution models, one on the basis of real data of mercury vapour inmission in the area, and the second on the basis of a gaussian model that considers the facility as the unique source for the mercury vapours. Results indicate that emission from the facility is very low, producing in the surrounding area an insignificant increase in mercury inmission, that can be evaluated in 1-3 ng Hg · m⁻³. As a matter of fact, in the model obtained with real data the influence of this emission is negligible, and it seems to be controlled by soil contamination by the old mine dumps and related activities.*

Key words: Atmospheric mercury, Modelling, Soils, Almadén.

INTRODUCCIÓN

Almadén (Ciudad Real, España) es el principal distrito minero de mercurio del mundo, con una producción total del orden de las 300.000 toneladas del metal líquido, que representan del orden un tercio del mercurio total producido por la humanidad en tiempos históricos (Hernández *et al.*, 1999). El mercurio (y su mena, el cinabrio, HgS) ha tenido aplicaciones muy diversas a lo largo de la historia, tanto como colorante (debido al color rojo intenso del cinabrio), como en aplicaciones en las que se aprovecha el carácter de metal líquido del elemento: barómetros, relés eléctricos, empleo como cátodo en la industria clorocáustica, etc. No obstante, también desde hace tiempo se puso de manifiesto que el mercurio tiene efectos sobre la salud, en parte positivos (fue el único medicamento antisifilítico durante la edad media; como desinfectante, casi todos recordamos el mercurocromo o “mercromina”), pero también muy negativos: el contacto con determinadas sales de mercurio, así como respirar de forma continuada sus vapores produce

efectos neurodegenerativos. En cualquier caso, el principal problema actual referido al mercurio se relaciona con su presencia en la atmósfera, que facilita su depositación seca o húmeda (Schroeder y Munthe, 1998). Esta depositación a su vez favorece la formación de metilmercurio, compuesto que los peces bioacumulan (Chan *et al.*, 2003). Este metilmercurio a su vez produce efectos neurodegenerativos sobre el hombre, cuyo paradigma fue la intoxicación sufrida por los habitantes de la bahía de Minamata (Japón), y que dio nombre a la “Enfermedad de Minamata”, que afectó a miles de personas en los años 50 del pasado siglo (Osame y Takizawa, 2001). Sobre esta base, se considera un objetivo prioritario de la humanidad reducir las emisiones de mercurio a la atmósfera, minimizando su empleo industrial. Ello ha tenido su reflejo en el marco de la Unión Europea en el establecimiento de una “Directiva Comunitaria sobre el mercurio”, que establece que a partir del año 2011 el mercurio excedente de la industria europea debe ser almacenado en condiciones seguras, sin posibilidad de ser exportado.

Sobre esta base, en el distrito de Almadén se está llevando a cabo un estudio piloto, que incluye la modelización de las emisiones que pueden resultar de una instalación de almacenamiento y manipulación de mercurio. Para ello se está utilizando la instalación de la empresa Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (MAYASA) en la que actualmente se realizan estas tareas. Se trata de una instalación situada a unos 10 km al NE de Almadén, en proximidad de la CN 415, y corresponden a las antiguas instalaciones de la mina de Las Cuevas, cerrada desde el año 2000 (Hernández *et*

al., 1999) (Fig. 1). Debido a que se trata de unas instalaciones mineras, hay que tener muy en cuenta que en su entorno inmediato existen focos variados con un cierto potencial de emisión, que se consideró importante controlar: escombreras (actualmente restauradas), lugares de acopio de mineral (también restaurados), bocamina, pozos y chimeneas de ventilación de la mina (todos ellos cegados), así como la anomalía geoquímica de suelos del entorno de la mina, que en parte se deberá a factores naturales, y en parte a dispersión del elemento en relación con las actividades extractivas.

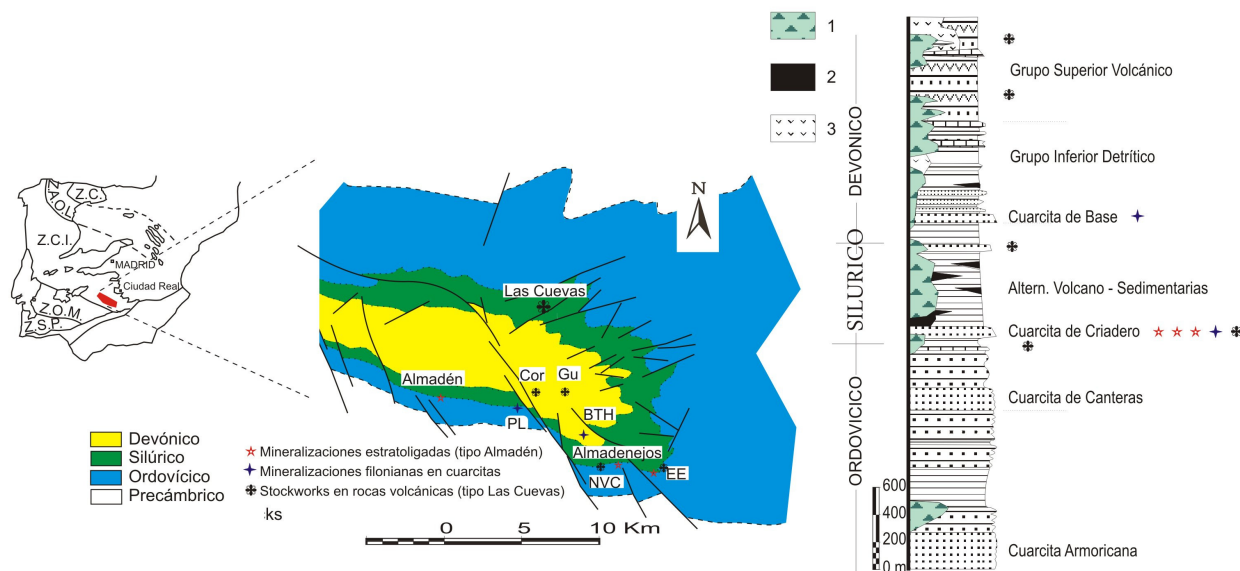


FIGURA 1. Esquema de situación geográfica y geológica del yacimiento de Las Cuevas en el contexto del sinclinal de Almadén.

Las emisiones de mercurio a la atmósfera pueden tener diferentes fuentes concretas: i) emisión por el mercurio metálico; la alta tensión de vapor del elemento hace que allí donde exista mercurio metálico, parte de éste pase a la atmósfera por sublimación. ii) emisiones desde suelos; en los suelos mineros de Almadén, la mayor parte del mercurio presente en los suelos procede de contaminación minera, y está en forma de cinabrio (Higueras *et al.*, 2003, 2006), que es una forma muy estable, que no produce emisión del metal a la atmósfera. Sin embargo, en el suelo se producen reacciones físico-químicas y biológicas, en parte fotocatalizadas, que permiten la formación de fases más lábiles, a partir de las cuales se puede producir la emisión del metal. A efectos prácticos, los suelos con contenidos en mercurio son importantes emisores del metal.

Así pues, el objeto del trabajo que llevamos a cabo en el entorno de la antigua mina de mercurio de Las Cuevas, y que se sintetiza en esta comunicación, tiene por objeto establecer la contribución de la instalación existente en la zona a la inmisión de mercurio gaseoso presente en la misma, mediante una comparación entre los datos de la modelización y los reales.

MATERIALES Y METODOS

Como se indica en el aparato anterior, el estudio que

realizamos se apoya en dos aspectos: el de la modelización teórica, y el del control de inmisión y emisiones que permitan caracterizar las fuentes de emisión responsables de la presencia de mercurio en la atmósfera de la zona.

La toma de datos sobre el terreno se ha llevado a cabo mediante un equipo portátil, marca LUMEX modelo RA-915+, capaz de analizar contenidos en mercurio en aire con un límite de detección muy bajo ($2 \text{ ng Hg} \cdot \text{m}^{-3}$), y capaz además de analizarlos en continuo, a intervalos regulares desde una medida por segundo. Por otra parte, se han realizado dos tipos de reconocimiento:

- 1) Reconocimientos “expres”. Se realizan mediante vehículo automóvil, y con el apoyo de GPS. Consisten en recorridos por la red de caminos del entorno de la instalación minera, realizando análisis de contenidos de mercurio durante el mismo, posicionando cada punto de medida: el GPS da la posición también en continuo. Ambos datos, contenido de mercurio en aire y posición geográfica, se toman cada segundo.
- 2) Reconocimientos en malla. Se llevan a cabo realizando las medidas de mercurio en aire en una red regular y fija de estaciones (65 localidades), establecida en el entorno de la

instalación, con un doble criterio: i) círculos concéntricos de densidad de muestras decreciente con la distancia; y ii) proximidad a caminos, para permitir la toma de datos completa en un solo día.

Además se lleva a cabo un control en continuo de las condiciones meteorológicas de la zona, mediante una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro2 instalada en la mina.

Estos datos meteorológicos son utilizados en el Software ISC AEROMOD, y son indispensables para la determinación de la dirección de flujo del mercurio vapor. El ISC-AERMOD es un completo y potente paquete modelador de dispersión de contaminantes en el aire, el cual incorpora en una sola interfase tres subprogramas: ISCST3, ISC-PRIME y AERMOD de la Agencia Americana de Protección Ambiental (USEPA). Los modelos son utilizados para evaluar concentraciones de contaminación y deposición para una extensa variedad de fuentes emisoras. El programa utiliza para la modelización una distribución Gaussiana (ISCST3), algoritmos integradores (ISC-PRIME) y un regulador de sistemas de modelación de plumas perteneciente a la USEPA (AERMOD). Como dato de partida para la modelización, se ha considerado la emisión de mercurio declarada al registro EPER por una planta de mediano tamaño de producción de cloro: 100 kg por año, que equivalen a una tasa continua de emisión de $2 \cdot 10^{-5} \text{ gr} \cdot \text{seg}^{-1}$.

El principal objetivo de esta modelización es la determinación de la dirección del flujo y alcance de la migración del mercurio que es emitido por la instalación y transportado por el viento. Con ello podemos llegar a obtener gráficos que representan la migración del mercurio, tomando en cuenta los principales factores que influyen en su migración: factores meteorológicos, topografía y vegetación.

Por otra parte, mediante la utilización de programas de procesamiento de datos georreferenciados, como el Surfer 8, podemos modelizar y representar la distribución de los valores de inmisión medidos mediante el analizador portátil de mercurio.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Figura 2 muestra el modelo de dispersión realizado sobre la base de las medidas obtenidas. En concreto, se ha realizado con los valores promedio obtenidos en 14 campañas de toma de datos distribuidas entre los meses de mayo de 2007 y enero de 2008. Por su parte, la Figura 3 muestra los resultados teóricos de la modelización de la dispersión de vapor de mercurio considerando la instalación como única fuente de emisión, y de acuerdo los datos que se expresan en el apartado anterior.

El primer dato relevante que se aprecia en el análisis de estas figuras es que el modelo de emisión teórico daría origen a unos valores de inmisión en el entorno de

la instalación muy bajos, y muy por debajo de los valores reales que se registran en la zona (del orden de 1 a 3 ng Hg · m⁻³), que además se distribuyen siguiendo fundamentalmente la dirección del viento dominante.

La segunda observación relevante es la escasa semejanza los dos modelos obtenidos, dado que el mapa de distribución basado en datos reales (Fig. 3) pone en evidencia que las concentraciones más altas se alcanzan en el entorno de la instalación, pero no siguen el patrón de distribución teórico (Fig. 2), sino otro que, según nuestra interpretación preliminar, está condicionado por un lado por la proximidad inmediata de la mina, y por otro, por la presencia de escombreras antiguas y antiguas áreas de acopio o almacenamiento de mineral de la mina.

Así pues, podemos concluir, sobre la base de estos datos, que la instalación, a pesar de ser un foco evidente de mercurio gaseoso, no supone la principal fuente de emisión de mercurio de la zona, ya que en la misma existe toda una red difusa de emisión cuya importancia total rebasa claramente la de la instalación. En la actualidad trabajamos en la caracterización de estas emisiones difusas, mediante la cuantificación de tasas de emisión de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está siendo financiado mediante los Proyectos CTM2006-13091-C02-01, del Plan Nacional en I+D+i del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y MERSADE – LIFE06 ENV/ES/REP/03, del Programa europeo LIFE06 ENV.

REFERENCIAS

- Chan H.M., Scheuhammer A.M., Ferran A., Loupelle C., Holloway J. y Weech S. (2003): Impacts of Mercury on Freshwater Fish-Eating Wildlife and Humans. *Human and Ecological Risk Assessment* 9: 867-883.
- Hernández A., Jébrak M., Higuera P., Oyarzun R., Morata D. y Munhá J. (1999): The Almadén mercury mining district, Spain. *Mineralium Deposita* 34: 539-548.
- Higuera P., Oyarzun R., Biester, H., Lillo J. y Lorenzo S. (2003): A first insight into mercury distribution and speciation in soils from the Almadén mining district. *Journal of Geochemical Exploration* 80: 95–104.
- Higuera P., Oyarzun R., Lillo J., Sánchez-Hernández J.C., Molina J.A., Esbrí J.M. y Lorenzo S. (2006): The Almadén district (Spain): anatomy of one of the world's largest Hg-contaminated sites. *Science of the Total Environment* 356: 112-124.
- Osame M. y Takizawa Y. (2001): *Methylmercury Poisoning in Minamata and Niigata, Japan*. Japan Public Health Association, Tokyo, 98 p.
- Schroeder W.H., y Munthe J. (1998): Atmospheric mercury—An overview. *Atmospheric Environment* 32: 809-822.

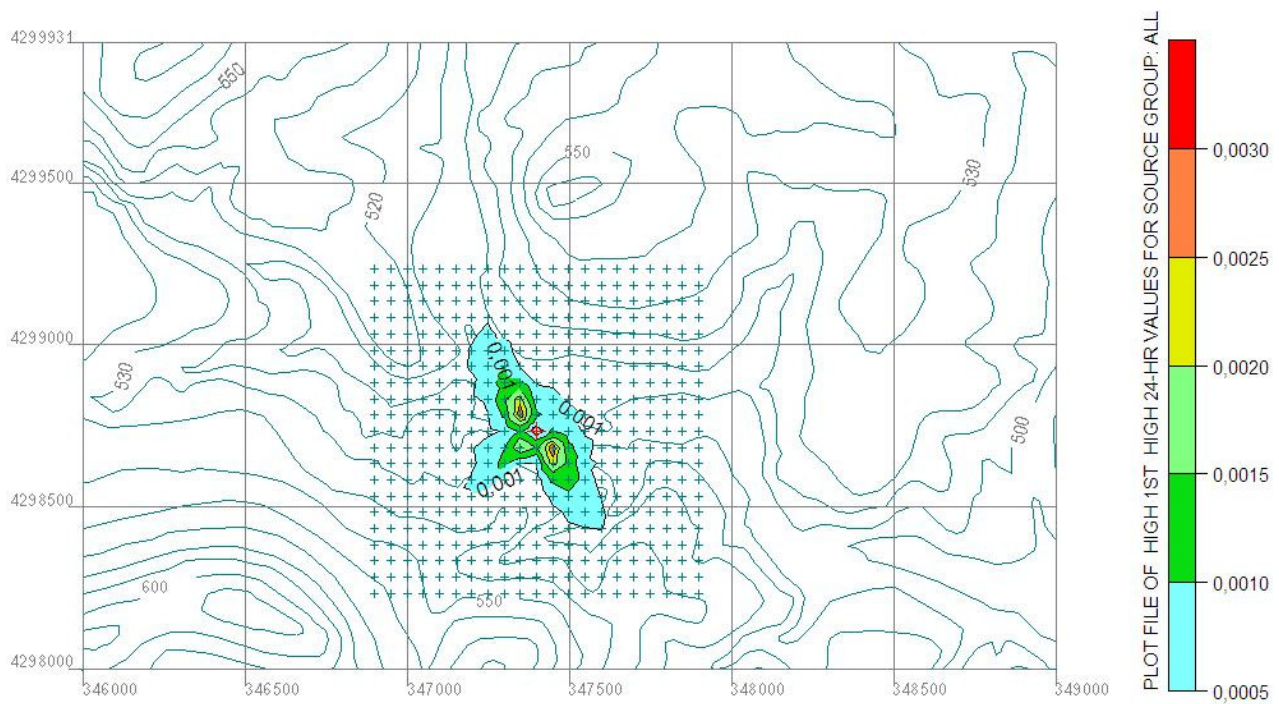


FIGURA 2. Modelo teórico de dispersión de mercurio a partir de una única fuente, que sería la instalación existente. Unidades en $\mu\text{g Hg}\cdot\text{m}^{-3}$. Base topográfica original a escala 1:10.000, equidistancia entre cotas: 10 m.

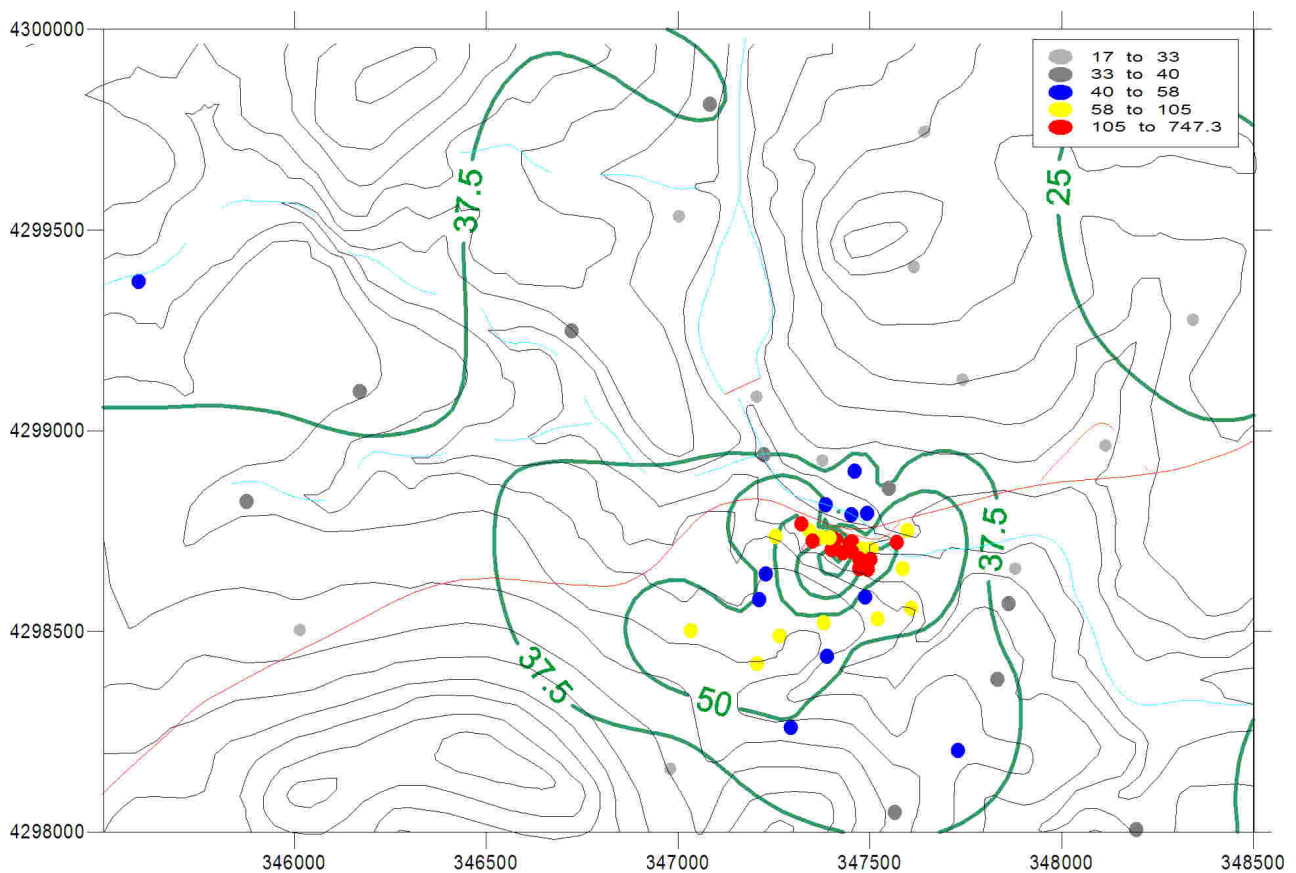


FIGURA 3. Modelo de distribución de mercurio en la zona, basado en datos reales, y obtenido mediante kriging con el programa SURFER 8. Isovalores en $\text{ng Hg}\cdot\text{m}^{-3}$. Base topográfica original a escala 1:10.00, equidistancia entre cotas: 10 m.